

УКРАЇНСЬКА ІНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГІЧНА АКАДЕМІЯ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ІЩЕНКО ГРИГОРІЙ ІВАНОВИЧ

УДК 621.9

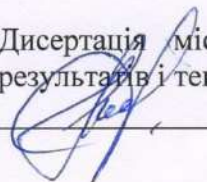
ДИСЕРТАЦІЯ
ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ
СЛОЖНОПРОФІЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ ТУРБІННИХ ЛОПАТОК З
ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

05.02.08 – технологія машинобудування

галузь знань
131 - механічна інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 Г.І.Іщенко

Науковий керівник Тарасюк Анатолій Петрович, доктор технічних наук,
професор

Харків, 2020



*Звернувшись до
звідан з першим
примірником
дисертації і довідаючись
власним секретарем
проект. Тарасюк О.А.
25.07.21*

АНОТАЦІЯ

Ищенко Г.І. Технологічне забезпечення якості виготовлення сложнопрофільних поверхонь турбінних лопаток з титанових сплавів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2021.

Дисертація присвячена рішення актуальної задачі забезпечення якості та зниження трудомісткості обробки сложнопрофільних поверхонь турбінних лопаток з титанових сплавів.

На основі системного аналізу проблеми забезпечення якості виготовлення деталей з важкооброблюваних матеріалів в турбінобудуванні виконано вдосконалення існуючого базового технологічного процесу обробки лопаток з нержавіючої сталі і формування раціональної структури нового щодо обробки лопаток з титанових сплавів при забезпеченні якості та зниженні трудомісткості обробки. Відмова від фізичної моделі (еталонної деталі-копіра) на копіювально-фрезерних операціях базового техпроцесу з переходом до комп'ютерної моделі і обробці на верстатах з ЧПК нового техпроцесу дозволив істотно скоротити трудомісткість технологічної підготовки виробництва і забезпечити якість обробки. Для забезпечення сталості припуску, що знімається, сложнопрофільних поверхонь робочої частини і його мінімізації впроваджено сучасні методи і засоби контрольних операцій. Із застосуванням методики багатофакторного планування експериментів проведено дослідження фінішної операції шліфування поверхонь турбінних лопаток з титанових сплавів, що дозволило розробити рекомендації щодо вибору оптимальних режимів різання. У процесі досліджень були надані рекомендації та виконано модернізацію технологічного обладнання. Все це дозволило знизити трудомісткість виготовлення лопатки на 30%, скоротити цикл виробництва комплекту (100 штук) для одного ряду турбіни в два рази.

Ключові слова: технологічний процес, турбінна лопатка, складнопрофільна поверхня, титановий сплав, забезпечення якості, трудомісткість обробки, шліфувальні і полірувальні операції.

ABSTRACT

Ishchenko G.I. Technological assurance of the quality of manufacturing of complex-profile surfaces of turbine blades from titanium alloys. – As a manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.02.08 - mechanical engineering technology. - National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, 2021.

The thesis is devoted to solving the urgent problem of quality assurance and reducing the labor intensity of processing complex-profile surfaces of turbine blades made of titanium alloys.

On the basis of a systematic analysis of the problem of ensuring the quality of manufacturing parts from difficult-to-machine materials in turbine engineering, the basic technological process of processing stainless steel blades implemented was improved and a rational structure was formed for a new one for processing blades from titanium alloys while ensuring quality and reducing the labor intensity of processing. The rejection of the physical model (reference copier part) for copy-milling operations of the basic technical process with the transition to a computer model and processing on CNC machines of the new technical process made it possible to significantly reduce the labor intensity of technological preparation of production and ensure the quality of processing. To ensure the constancy of the removed allowance of the complex-profile surfaces of the working part and to minimize it, modern methods and means of control operations have been introduced. Using the method of multifactorial planning of experiments, the study of the finishing operation of grinding the surfaces of turbine blades made of titanium alloys was carried out, which made it possible to develop recommendations for choosing the optimal cutting conditions. In the process of research, recommendations were given and the modernization of technological equipment was carried out. All this made it

possible to reduce the labor intensity of manufacturing a blade by 30%, to reduce the production cycle of a set (100 pieces) for one row of a turbine by half..

Key words: technological process, turbine blade, complex-profile surface, titanium alloy, quality assurance, labor intensity of processing, grinding and polishing operations.

Список публікацій здобувача.

1. Ищенко Г.И. Исследование точности фрезерования профиля лопаток паровых турбин. /Н.В.Емец, Г.И.Ищенко, М.Г.Ищенко //Машинобудування : зб. наук. пр. – Харків: Укр. інж.-пед. акад. – 2010. – Вип. 6. – С.97–106.

Здобувач провів аналіз точності фрезерування профілю лопаток турбін.

2. Ищенко Г.И. Перспективные направления совершенствования и дальнейшего развития высоких технологий в машиностроении / Г.И.Ищенко, И.К.Кириченко, А.Я.Мовшович, Н.К. Резниченко //Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ" : сб. науч. тр. Темат. вып. : Технологии в машиностроении. – Харьков : НТУ "ХПИ", 2010. – № 40. – С. 34-42.

Здобувач провів аналіз перспективних напрямків вдосконалення і розвитку високих технологій в машинобудуванні.

3. Ищенко Г.И. К вопросу о работоспособности лезвийного инструмента с покрытиями /Г.И.Ищенко, В.П.Зубарь, М.В.Чопенко //Резание и инструмент в технологических системах: междунар. науч.-техн. сб. – Харьков : НТУ "ХПИ", 2012. – Вып. 82. – С. 71-74.

Здобувач провів аналіз працездатності лезвийного інструменту з покриттями у виробничих умовах.

4. Ищенко Г.И. Надежность системы универсально–сборочных приспособлений. Критерии надежности /А.Я.Мовшович, Г.И.Ищенко, М.Г.Ищенко //Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. - 2013. - Вып. 59. - С. 147-152.

Здобувач провів аналіз надійності системи УСП у виробничих умовах.

5. Ищенко Г.И. Изучение возможностей использования метода структурной инженерии многослойных периодических систем для повышения механических свойств покрытий, применяемых в качестве защитных на деталях паротурбинных агрегатов /О. В.Соболь, В. В.Дмитрик, Г.И.Ищенко и др. //Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2015. – Вып.3/1(75). – С.50-56.

Здобувач провів аналіз переваг використання багатошарових захисних покриттів на деталях паротурбінних агрегатів у виробничих умовах.

6. Ищенко Г.И. К вопросу о имитационном моделировании машинно-ручных технологических операций в системах обработки металлов резанием /Г.И.Ищенко, А.Р.Рузметов, М.С.Семченко, А.Н.Шелковой, Л.Б.Шрон //Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ", 2015. – Вип. 10. – С. 177-191.

Здобувачем виконано імітаційне моделювання машинно-ручних технологічних операцій для виробничих ділянок.

7. Ищенко Г.И. Технологические возможности ПАО «Турбоатом» /Г.И.Ищенко, М.Г.Ищенко //Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. пр. – Харків: НТУ "ХПІ", 2015. – Вип. 1 (25). – С.3-17.

Здобувач виконав аналіз виробничих можливостей заводу.

8. Ищенко Г.И. Определение особенностей и рациональных условий шлифования лопаток турбин из титанового сплава //Високі технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – вип. 1(27). – С. 3-9.

9. Ищенко Г.И. Технологическое обеспечение изготовления гидравлической турбины для Днестровской ГАЭС /Г.И.Ищенко, М.Г.Ищенко, А.В. Линник. Е.И.Сокол. А.Ю.Черкасский // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 26 (1248). – С. 5–13.

Здобувач виконав аналіз методів та засобів технологічного забезпечення виготовлення гідравлічної турбіни.

10. Ищенко Г.И. О финишной обработке рабочей части лопаток паровых турбин /Г.И.Ищенко, Р.М.Стрельчук //Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні: зб. наук. пр. - Харків: НТУ «ХПІ». -2018. - № 6 (1282). - С.119-126.

Здобувачем представлені результати аналізу фінішної обробки робочої частини лопаток парових турбін.

11. Ищенко Г.И. Исследование эрозии поверхностного слоя лопаточной стали 15X11МФ при микроударном воздействии / В.А.Белоус, Г.И.Ищенко, М.Г.Ищенко и др. //Вопросы атомной науки и техники. — 2018. — № 2. — С. 119-124.

Здобувач провів аналіз ерозії поверхневого шару лопаток у виробничих умовах.

12. Ищенко Г.И. Целевые функции представительства семейств критерий оптимизации блочно–модульного инструмента на тяжелых станках /Г.П.Клименко, Е.В.Мироненко, Г.И.Ищенко и др. //Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Технології в машинобудуванні: зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ", 2020. – № 2. – С.57-64.

Здобувач провів аналіз умов використання блочно–модульного інструменту у виробничих умовах.

13. Ищенко Г.И. Обработка великогабаритных деталей турбоагрегатов с использованием портативных верстатов / А.А.Пермяков, Г.И. Ищенко, М.Г.Ищенко //Modern engineering and innovative technologies, Germany. – Вип.15. – 2021. – С.17-26. (ISSN 2567-5273)

Здобувач провів аналіз технологічності деталей турбоагрегатів при обробці портативними верстатами.

14. Високоструктурний абразивний інструмент. Патент №128773 UA, МПК В24D 3/14 (2006.01) /Г.И. Ищенко, Р.М. Стрельчук. - № u201803103; заявл. 26.03.2018; опубл. 10.10.2018. Бюл. № 19.

Здобувачем запропоновано конструктивні варіанти високоструктурного абразивного інструменту в якому наповнювач додатково містить компоненти з алюмосилікатних мікросфер та порошків окислів металів.

15. Ищенко Г.И. «Турбоатом» - производство продукции, проблемы, достижения //Материалы XIX международного научно-технического семинара «Высокие технологии: тенденции развития, нормативно-техническое регулирование «Интерпартнер-2011», 12-17 вересня 2011 р., м.Алушта - Харків: НТУ «ХПИ», 2011. – С.47-48.

16. Ищенко Г.И. Технологические возможности ПАО «Турбоатом» /Г.И.Ищенко, М.Г.Ищенко //Матеріали XXIII міжнародного науково-технічного семінару «Високі технології: тенденції розвитку», 7-12 вересня 2015 р., м.Одеса. - Харків: Вид-во «Курсор», НТУ «ХП», 2015 – С.93-95.

Здобувач виконав аналіз виробничих можливостей заводу.

17. Ищенко Г.И. Статистичне дослідження точності фрезерування профілю лопаток парових турбін //Матеріали XXX міжнародної конференції «Нові технології в машинобудуванні», 3-8 вересня 2020 р., Коблево. - Харків: НАУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2020. – С.94-95.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ .	11
1.1 Про конкурентоспроможність і імпортозамещення в турбінобудуванні.....	11
1.2 Технологічні можливості АТ «Турбоатом».....	13
1.3 Лопатковий апарат парових і газових турбін.....	17
1.3.1 Призначення лопаток і умови їх роботи.....	17
1.3.2 Матеріали для виготовлення лопаток.....	19
1.3.3 Конструкції і види лопаток.....	20
1.3.4 Основні вимоги до механічної обробки лопаток.....	22
1.3.5 Технологічність конструкцій лопаток.....	33
1.3.6 Класифікація і типізація лопаток.....	28
1.4 Висновки до розділу 1.....	46
РОЗДІЛ 2. СУЧАСНИЙ СТАН І МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ І ПРОДУКТИВНОСТІ ОБРОБКИ СЛОЖНОПРОФІЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ З ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ У ТУРБІНОБУДУВАННІ	47
2.1 Загальна характеристика технологічних процесів обробки лопаток і типовий технологічний процес і операції обробки лопаток.....	47
2.2 Базовий технологічний процес обробки сталевих лопатки виробництва «Турбоатом».....	56
2.3 Впровадження сучасних методів і засобів контрольних операцій технологічного процесу як основи забезпечення якості і скорочення циклів виготовлення деталей.....	71
2.4 Висновки до розділу 2.....	73
РОЗДІЛ 3. ФОРМУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ	

СЛОЖНОПРОФІЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ ТУРБІННИХ ЛОПАТОК З ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ ЯК ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ І ЗНИЖЕННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ ОБРОБКИ.....	75
3.1 Новий технологічний процес обробки титанової лопатки виробництва «Турбоатом».....	75
3.2 Сучасний стан методів забезпечення якості обробки робочих поверхонь лопаток і встаткування для їхнього здійснення.....	93
3.3 Механізація та автоматизація полірувальної операції.....	104
3.4 Висновки до розділу 3.....	114
РОЗДІЛ 4. СИНТЕЗ СТРУКТУРИ Й ПАРАМЕТРІВ ШЛІФУВАЛЬНИХ І ПОЛІРУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ.....	115
4.1 Удосконалювання й дослідження операції шліфування титанового сплаву.....	115
4.2 Висновки до розділу 4	145
РОЗДІЛ 5. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАХОДИ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБКИ ЛОПАТОК ПАРОВИХ ТУРБІН.....	147
5.1 Імітаційне моделювання роботи виробничої ділянки по виготовленню лопаток парових турбін.....	147
5.2 Модернізація технологічного встаткування для забезпечення якості й зниження трудомісткості виготовлення лопаток парових турбін.....	152
5.3 Технологічні рекомендації із забезпечення полірувальних операцій обробки лопаток парових турбін.....	156
5.4 Висновки до розділу 5	161
ВИСНОВКИ	162

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	164
ДОДАТОК А Патент України на корисну модель № 128773.....	175
ДОДАТОК Б Листи про експлуатацію титанових лопаток на Хмельницькій та Рівненській АЕС	183